

SECRETARIAT D'ETAT
A L'AGRICULTURE

H. A. R.

Section Spéciale d'Etudes
de Pédologie et d'Hydrologie

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SOLS GYPSEUX DU SUD TUNISIEN
CROUTES ET ENCROUTEMENTS GYPSEUX
DE LA PARTIE SUD DU GOLFE DE GABES

par P. BUREAU et P. ROEDERER - Pédologues (Novembre 1960)

(E-S 33)

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES SOLS GYPSEUX DU SUD TUNISIEN :
CROUTES ET ENCROUTEMENTS GYPSEUX DE LA PARTIE SUD
DU GOLFE DE GABES

Par

P. BUREAU et P. ROEDERER - Pédologues

(Novembre 1960)

- S O M M A I R E -

	Pages
RESUME	1
INTRODUCTION	2
I - <u>DEFINITION DES TERMES</u>	5
II - <u>CARACTERISTIQUES PETROGRAPHIQUES</u>	6
A) - L'encroûtement gypseux	6
B) - La croûte gypseuse	9
III - <u>LES DONNEES MORPHOLOGIQUES - REPARTITION DES CROUTES ET ENCROUTEMENTS GYPSEUX</u>	11
A) - Les massifs du crétacé	12
B) - Les piedmonts	12
C) - Les glacis	12
D) - Les terrasses	14
E) - La région littorale	16
IV - <u>HYPOTHESE PEDOGENETIQUE DE FORMATION DE LA CROUTE ET DE L'ENCROUTEMENT GYPSEUX</u>	18
A) - Formation de l'encroûtement gypseux	18
1° - Hypothèses émises précédemment	18
2° - Mode de formation	21

../...

a) encroûtement formé à partir des argiles sableuses rouges du miopliocène	22
b) encroûtement formé à partir d'un ancien horizon hydromorphe à accumulation de gypse	28
c) encroûtement formé à partir de sédiments gypseux, alluviaux fluviatiles ou éoliens	29
d) encroûtement formé à partir d'une roche dure gypseuse	30
B) - Formation de la croûte gypseuse	31
C) - Phénomènes s'opposant à la formation de la croûte et de l'encroûtement, effet de "Mulch"	32
V - <u>DATATION DE LA CROUTE ET DE L'ENCROUTEMENT GYPSEUX</u> ..	33
VI - <u>EXTENSION A D'AUTRES REGIONS EN TUNISIE DES OBSER-</u> <u>VATIONS FAITES ET DES HYPOTHESES EMISES</u>	35
CONCLUSION GENERALE	37

R E S U M E

Dans la partie Sud du golfe de Gabès l'étude des croûtes et encroûtements gypseux et celle de leur place dans le contexte morphologique régional conduisent à formuler l'hypothèse de leur formation suivant un processus pédologique. La pédogénèse envisagée pourrait s'appliquer à de nombreux autres cas de croûtes et encroûtements semblables observés dans le Sud et le Centre tunisiens.

L'encroûtement gypseux⁺ serait dû à une accumulation progressive de gypse vers la surface à partir d'une roche-mère gypseuse, principalement par évaporation. L'accroissement de la teneur en gypse dans les différents horizons s'accompagne d'un amenuisement de la taille des cristaux jusqu'à un aspect pulvérulent à l'oeil nu. Une croûte zonaire superficielle de quelques millimètres est le terme normal de cette pédogénèse par un phénomène de reconcentration à la surface de l'encroûtement par suite d'alternances de dissolutions et d'évaporations.

Dans la région plus particulièrement étudiée leur apparition semble remonter au quaternaire post-villafranchien, les processus pédogénétiques de formation de ces croûtes et encroûtements se poursuivent à l'époque actuelle dans certaines conditions.

../...

+ le terme de gypse dans ce texte est pris au sens large, il désigne du sulfate de calcium en général.

INTRODUCTION

Les croûtes gypseuses du Sud tunisien se signalent à l'attention des pédologues par leur étendue et leur répartition originale sur les différentes formes du relief. M. DESSUS, SABATHE et GELPE les ont souvent décrites et signalées dans les études pédologiques de la SSEPH sans aborder toutefois le problème de leur formation. Pour M. GELPE l'encroûtement gypseux est une formation géologique ancienne.

H. ROBAUX et G. CHUBERT attribuent la période de formation de ces croûtes au quaternaire récent. Ils interprètent les accumulations de gypse de cette période par évaporation à partir des nappes phréatiques plus riches à cette époque.

" L'étude de ces croûtes dans la région de Gabès-Mareth démontre "
" qu'elles sont plus récentes que les croûtes calcaires et recou- "
" vrent les collines en contre-bas du plateau formé par le qua- "
" ternaire ancien." (17)

Récemment H.N. LE HOUEROU a décrit différents profils de croûte et d'encroûtement gypseux (14). Il ne mentionne que d'une façon très générale leur processus de formation.

" Il y a donc en Tunisie du Sud, au moins cinq processus différents "
" de dépôt de gypse, dont deux, au moins, demeurent actuels : "
" origine éolienne, lagunaire, par capillarité sans nappe, par "
" transport (actuel), encroûtement de nappe (actuel). "

J. BOULAIN, de son côté, après avoir observé des horizons gypseux pulvérulents sur sol de "lunette" donc d'apport éolien considère que des processus de pédogénèse peuvent amener la formation d'horizons d'accumulation de sulfates. (2)

C'est surtout à R. COQUE (4 - 5 - 6) que nous devons une étude plus précise de ces formations. Il conclut à une intense dissémination du gypse pendant le quaternaire, par le ruissellement et par le vent. La croûte

.../...

résulterait de la transformation in situ, de matériaux variés, (le plus souvent recouvrements détritiques quaternaires alluviaux ou fluviatiles) ceux-ci étant abondamment gypseux ; il s'agirait d'un remaniement du gypse de ces formations, la transformation s'accomplissant progressivement depuis la surface ou presque, l'eau constituant le principal agent du phénomène. Les mécanismes de l'encroûtement sembleraient liés principalement aux oscillations climatiques quaternaires, les conditions optima de la genèse et de la formation des croûtes gypseuses se trouvant réunies au moment du passage d'une phase humide à une phase sèche.

Dans les territoires avoisinant la Tunisie la croûte gypseuse a été décrite au Sahara pour la première fois en 1868 par PICCART (in 7). Il a observé "des sols sableux plus ou moins couverts par une croûte épaisse de gypse, qui protège le sol contre l'action destructive du vent". Sa formation serait due à l'évaporation des solutions du sol montant par les capillaires à la surface. Cette croûte continuerait à se former de nos jours.

J.H. DURAND en Algérie (7) distingue :

- les gypses pulvérulents : "dépôts lagunaires formés au moment de l'assèchement des lacs."
- les encroûtements gypseux et salins : "ils se forment au dessus des nappes phréatiques, suffisamment près de la surface du sol pour subir une évaporation telle que la nappe se concentre et dépose ses sels sans que la diffusion puisse contrebalancer le phénomène."

Il ne cite pas de croûte zonale gypseuse et n'envisage que la croûte zonale calcaire.

M. le Professeur KOVDA distingue les croûtes gypseuses et les horizons gypseux : les uns, actuels, se forment par évaporation des nappes phréatiques minéralisées, les autres, résiduels, se sont formés dans le passé. Les croûtes gypseuses et les horizons gypseux qui existent en Ouzbékistan (Arjyk) en Azerbaïdjan (Gaja) contiennent en général 60 à 80 % de gypse (12).

D'après M. le Professeur KOVDA, le mécanisme qui permet la précipitation du sulfate de calcium à partir de la solution du sol réside dans les

variations de concentration de cette solution (précipitant les sels les moins solubles), et la variation saisonnière des hauteurs de la nappe (13).

Nous verrons ci-après que nos conclusions rejoignent dans une certaine mesure telle ou telle hypothèse de ces différents auteurs. Mais l'hypothèse de pédogénèse de la croûte et de l'encroûtement gypseux, telle qu'elle nous apparaît d'après nos études de terrain, nous semble pouvoir éclairer d'un jour nouveau le problème du gypse dans les régions présahariennes.

.../...

I - DEFINITION DES TERMES

La diversité des formations désignées sous le nom de croûte ou d'encroûtement, en particulier lorsqu'il s'agit de gypse, est souvent l'origine de bien des discussions.

En accord avec la majorité des pédologues d'Afrique du Nord, nous réservons le terme de "croûte gypseuse" à la partie zonée (la plus durcie et souvent superficielle) de la formation généralement désignée par le terme de croûte gypseuse ; c'est l'équivalent de ce que l'on appelle souvent croûte gypseuse zonaire. Le terme d'encroûtement gypseux désigne le reste de la formation enrichie en sulfate de calcium et assez compacte qui se trouve sous la "croûte zonaire".

Notre étude porte uniquement sur la croûte et l'encroûtement gypseux les plus largement représentés dans notre région. Il ne s'agit pas d'autres encroûtements gypseux particuliers que nous connaissons tels que le "Terch" ou le "deb-deb", et que nous définissons comme suit d'après les observations effectuées ces dernières années par G. NOVIKOFF et les pédologues de Tunisie.

Le "Terch" est un encroûtement gypseux formé directement au-dessus du niveau d'une nappe (s.l) par évaporation.

Les "Ras-Kelb" (têtes de chien) sont des sortes de nodules à forme particulière comme leur nom l'indique, d'apparence voisine à celle des "poupées" calcaires. Leur composition chimique est un peu différente : calcaro-gypseuse. Leur formation semble se faire par concentration dans la zone de battement d'une nappe (s.l). Leur abondance dans un horizon peut faire assimiler celui-ci à un encroûtement nodulaire.

Le "deb-deb" est un encroûtement gypseux cristallisé se formant par concentration au sein d'une solution chargée en sulfate de calcium.

Ces trois formations et celle que nous étudions diffèrent entre elles par leur aspect, leur composition chimique, leur texture et aussi par leur pédogénèse.

../...

II - CARACTERISTIQUES PETROGRAPHIQUES

La formation gypseuse qui fait l'objet de cette étude est un encroûtement recouvert au sommet d'une patine zonée peu épaisse que nous différencions par le terme de croûte.

A - L'ENCROUTEMENT GYPSEUX

L'encroûtement gypseux est ici une formation dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre parfois. De haut en bas on y distingue principalement deux horizons.

1) Le premier, de couleur blanchâtre, d'aspect massif présente une structure pulvérulente, très fine, comme du "talc" ; on y trouve peu d'inclusions et rarement des racines.

Il y a une certaine cohérence et une compacité dans cette masse amorphe car il est possible d'en prélever des mottes.

2) Le second horizon diffère très peu du précédent. Il y a une légère variation dans la coloration, à peine moins blanche : jaune très pâle. L'aspect général reste massif, la structure change à peine : à l'apparence d'un limon pulvérulent se joint au toucher la sensation de nodules très fins (têtes d'épingles). Parfois de petits cristaux sont visibles à l'œil nu. Les inclusions et les racines y sont rares.

La cohérence et la compacité sont à peine amoindries. Le premier horizon étant parfaitement sec, ce second horizon semble plus frais.

L'examen au binoculaire montre que l'aspect pulvérulent masque en fait une microcristallisation très fine mais très nette, les microcristaux de gypse apparaissent d'autre part soudés les uns aux autres formant ainsi des sortes de filaments enchevêtrés, l'ensemble paraissant assez vacuolaire.

../...

On aperçoit parmi les microcristaux d'autres petits cristaux plus grossiers de couleur jaunâtre. Ces derniers sont plus nombreux dans le second horizon où les microcristaux sont aussi plus grands.

La teneur en SO^4 de ces deux horizons est remarquablement constante (quel que soit l'emplacement du profil où on les observe), de l'ordre de 30 à 45 %, soit 55 à 85 % de $\text{SO}^4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}^2\text{O}$ si l'on veut l'exprimer ainsi. La teneur en SO^4 du premier horizon est toujours supérieure à celle de l'horizon inférieur.

3) Caractères particuliers de l'encroûtement.

a) disposition des horizons.

Le cas normal et le plus largement répandu est un étagement horizontal. On peut observer parfois une disposition différente, verticale ou oblique.

Par exemple, sur une paroi d'oued, entaillant un encroûtement à étagement horizontal, la partie inférieure jaunâtre qui est exposée à l'air devient identique à la partie supérieure blanche. Dans ce cas évidemment, la modification n'intéresse qu'une très faible épaisseur.

D'une manière générale, les deux horizons de l'encroûtement sont disposés en fonction de la surface d'évaporation.

b) patine et compacité.

Une légère patine beige, sinon une croûte (comme nous la décrirons ci-après), recouvre la surface de l'encroûtement lorsque celui-ci affleure.

D'autre part on note un durcissement et une compacité de l'encroûtement croissant avec la surface exposée à l'air : c'est le cas des mottes détachées de gypse pulvérulent qui, à la suite de leur durcissement, sont utilisées pour la construction au même titre que des roches dures.

c) zonations secondaires à l'intérieur de l'encroûtement gypseux.

Elles apparaissent comme des sortes de plages rectilignes, durcies, horizontales, verticales ou obliques, dans la masse.

.../...

d) macrostructure polygonale.

Elle affecte souvent l'encroûtement et la croûte qui le surmonte lorsqu'ils sont exposés à l'air libre sur une grande surface. C'est un cas répandu le long des coupes d'oued par exemple. Les polygones ont de 10 à 40 cm de côté, et sont séparés par des fentes jusqu'à la partie inférieure de l'encroûtement.

Périodiquement de grands blocs se détachent de la paroi en laissant des empreintes géométriques très marquées. Sur la partie de la paroi nouvellement exposée à l'air se reforme au moins une patine, sinon une croûte.

Du fait de cette macrostructure polygonale H.N. LE HOUEROU (14) distingue principalement deux familles d'encroûtements : l'encroûtement pavimenteux et l'encroûtement pulvérulent.

" L'encroûtement pavimenteux est constitué d'un banc épais de gypse pulvérulent affleurant en surface " il se distinguerait de l'encroûtement pulvérulent par sa polygonation. Il occuperait de larges surfaces dans la région de Gafsa, Metlaoui et sur les deux rives du Chott Fedjej.

En fait nous ne faisons pas de distinction entre encroûtement pavimenteux et encroûtement pulvérulent. Il ne s'agit là que d'une différence de macrostructure, la polygonation traduisant une dessiccation plus intense de la masse.

Comme le remarque H.N. LE HOUEROU cette macropolygonation est plus rare dans la région de Gabès ; ceci tient surtout à la présence de conglomérats calcaires en bordure des oueds qui entaillent le glacis à encroûtement gypseux. Mais partout où les oueds entaillent directement l'encroûtement gypseux nous pouvons alors l'observer.

A. FOURNET (8) signale sa présence localement en bordure de sebkha, dans la région de Gafsa-Lalla, et également à un niveau supérieur sur la terrasse proprement dite à croûte et encroûtement gypseux.

Cette macrostructure polygonale est moins nette lorsque l'encroûtement gypseux n'est pas surmonté par la croûte gypseuse, probablement en raison d'une concentration moindre en gypse sous forme pulvérulente.

Dans la région d'Henchir Boua (Sebkha en Noual), A. FOURNET (9) remarque au pied du djebel Kraiatil, un encroûtement gypseux à prismes de 25 à 30 cm présentant des recristallisations secondaires sur les parois des prismes et recouvrant, vers 1,20 m de profondeur, 1,50 m à 2 m de cailloux roulés et limons sableux encroûtés de gypse sur un substratum à limon gypseux rosé à macrostructure polygonale à prismes de 60 cm à 1,20 m.

Nous avons souvent remarqué, depuis, cette macrostructure polygonale à prismes de 60 cm à 1,20 m dans des limons rosés gypseux identiques constituant parfois le substrat d'encroûtement gypseux dans notre région.

La plus grande taille des prismes dans cette roche est remarquable. Lorsque celle-ci affleure les fentes des prismes sont encroûtées par le gypse.

La macrostructure polygonale peut s'expliquer dans les cas précédents par un simple phénomène de dessiccation à la surface d'un milieu homogène (ici l'encroûtement gypseux) du point de vue granulométrique, la taille des prismes étant fonction de la dimension des particules. Quoiqu'il en soit ce phénomène ne semble pas lié uniquement au gypse : on observe la même macrostructure polygonale sur des sols steppiques à très faible teneur en SO_4 et très calcaires, particulièrement en bordure d'oueds et même sur des sols alluviaux à texture sablo-limoneuse.

On peut assimiler à la formation de cette macrostructure celle de la polygonation que l'on observe à la surface de nombreuses sebkhas et des chotts du Sud tunisien et qui a été déjà décrite et signalée par de nombreux auteurs.

B - LA CROUTE GYPSEUSE

Elle apparaît comme une patine plus durcie, pellicule zonée de quelques millimètres à peine en général et située à la partie superficielle de l'encroûtement décrit ci-dessus.

.../...

Il faut noter que l'encroûtement peut exister sans la croûte. Mais nous n'avons jamais remarqué l'inverse. La patine gypseuse qui recouvre parfois directement certaines roches gypsifères dures est une sorte de "verniss du désert" et diffère de celle que nous étudions ici.

La liaison entre la croûte et l'encroûtement est évidente à l'observation. La croûte n'est qu'une patine plus épaisse, assez dure, compacte, d'aspect feuilleté en coupe, lissé et parfois même poli en surface. Sa couleur est d'un gris nuancé parfois gris bleuté. Il est possible que celle-ci soit due à des microchampignons à des bactéries (qui alors auraient peut-être un rôle dans la genèse de la croûte dont la cassure révèle parfois sous un mince feuillet d'aspect vitreux et superficiel des amas verdâtres, bleutés ou même rosés) ou à des sels métalliques.

La croûte ne repose jamais, telle que nous l'avons observée, sur l'horizon inférieur de l'encroûtement mais toujours sur le premier. On remarque toujours sous la croûte au moins un mince horizon de gypse pulvérulent blanc. La position de la croûte dépend de la position de l'encroûtement sur lequel elle se forme ; elle peut se trouver verticalement en particulier le long des parois d'oueds ou présenter une forme arrondie lorsqu'elle enrobe un bloc gypso-calcaire ou calcaro-gypseux.

Nous avons toujours remarqué que la croûte gypseuse telle que nous venons de la décrire ne couvre jamais de façon continue une grande surface (au contraire de l'encroûtement qui lui est sous-jacent). Elle se présente en taches rectangulaires ou polygonales lisses entourées d'un léger bourrelet de gypse pulvérulent plus ou moins durci. La dimension de ces plaques de croûte varie de 10 à 60 cm au maximum. Elles sont souvent fissurées.

La teneur en SO_4^4 de ces croûtes est toujours plus élevée que celle de l'encroûtement sous-jacent (de 35 à 45 %).

Lorsqu'on observe ces croûtes, arrachées et démantelées par l'érosion, on peut remarquer qu'elles sont plus épaisses qu'en place (jusqu'à 15 cm). En effet, entre la fissuration et l'arrachement, une partie du gypse pulvérulent a durci et fait corps avec la croûte.

../...

III - LES DONNEES MORPHOLOGIQUES

REPARTITION DES CROUTES ET ENCROûTEMENTS GYPSEUX

La répartition des croûtes et encroûtements gypseux dans le contexte morphologique régional fournit des indications très utiles du point de vue datation et pédogénèse de ces formations.

Sans prétendre avoir fait une étude géomorphologique détaillée, nous avons simplement remarqué dans la partie Sud du golfe de Gabès, un ensemble géomorphologique typique du Sud tunisien, tel qu'on le retrouve dans telle ou telle autre région avoisinante.

Les puissants djebels du crétacé dominant une immense plaine inclinée en pente douce vers la mer et entaillée par d'importantes vallées d'oueds axées perpendiculairement au rivage.

Des différences nettes d'altitudes relatives permettent de distinguer dans la plaine trois surfaces topographiques ~~en~~boîtées. Nous sommes en présence de 3 glacis d'érosion classiques dans le Sud tunisien.

Au voisinage des oueds deux terrasses semblent se distinguer :

La plus ancienne s'emboîte sur le 2ème ou le 3ème glacis, la seconde peut s'emboîter sur la précédente et se raccorde avec la plaine littorale et les sebkhas en bordure de mer.

A chacune de ces différentes formes de relief correspond un ensemble lithologique particulier dans lequel la croûte et l'encroûtement gypseux occupent une place originale. Une brève description des formations successives s'étageant depuis les djebels jusqu'à la mer permet de s'en rendre compte.

.. / ...

A - LES MASSIFS DU CRETACE

Ces massifs sont très érodés, et leur surface présente un amoncellement de roches calcaires plus ou moins gypseuses constituant un manteau colluvial interrompu par les affleurements successifs des bancs rocheux.

On y remarque des débris de croûte calcaire, mais surtout, un peu partout et même au sommet, des placages de croûte et d'encroûtement gypseux.

B - LES PIEDMONTS

C'est la zone de raccordement entre le glacis supérieur ou premier glacis et les djebels. Cette zone comprend essentiellement des épandages caillouteux recouvrant soit la croûte calcaire moulouyenne (= villafranchien)⁺ soit une forte épaisseur de limons à nodules calcaires.

Ces limons à nodules recouvrent par ailleurs presque toute la surface comprise entre les djebels à l'intérieur du massif des Matmatas. Nous avons de bonnes raisons d'estimer qu'il s'agit là d'épandages du dernier pluvial ; on les remarque toujours dans le Sud tunisien comblant les vallées d'oueds à l'intérieur des massifs montagneux, envoyant souvent leurs piedmonts et succédant ou se superposant à la croûte tensiftienne dans les glacis. C'est dans ces limons à nodules que sont creusées les habitations troglodytes de Matmatas. La croûte et l'encroûtement gypseux ne sont pratiquement jamais représentés sur les piedmonts. Mais on peut les remarquer en bordure immédiate de certains djebels lorsque ceux-ci sont ennoyés dans le 3ème glacis (ce qui serait semble-t-il le cas au djebel Dissa).

C - LES GLACIS

Les glacis sont constitués par des formations tendres attribuées au miopliocène (argiles sableuses rouges), et sont recouverts par une épaisseur assez faible de quaternaire.

../...

+ La terminologie employée concernant les différents pluviaux et interpluviaux du quaternaire a été empruntée à l'ouvrage "érosion et sédimentation" de H. et G. TERMIER - édition MASSON et Cie - Paris 1960.

Ces glacis s'étagent vers la mer de la cote 110 environ au pied des djebels jusqu'aux cotes 7 et 4 où l'on retrouve encore des buttes témoins dont le niveau et la constitution lithologique permettent le raccordement avec le dernier glacis. La pente générale très faible, est de l'ordre 0,5 % environ.

Le premier glacis ou glacis supérieur est recouvert d'une croûte calcaire, dure de couleur saumon, plus ou moins concrétionnée, dont l'épaisseur peut dépasser le mètre, passant à sa partie inférieure à un encroûtement calcaire à nodules et reposant sur les argiles sableuses du miopliocène.

Le second glacis ou glacis moyen s'étend de la cote 80 environ jusque vers la cote 60. A sa surface, on observe une croûte calcaro-gypseuse plus tendre, mais nettement zonée de couleur claire souvent blanchâtre. Elle surmonte également un encroûtement calcaire à nodules, légèrement gypseux le plus souvent, et comprenant des blocs de la croûte du glacis supérieur ; en dessous se trouvent les argiles sableuses du miopliocène.

Le talus de raccordement entre ce deuxième glacis et le premier glacis est également encroûté de la même façon que le second glacis.

Le troisième glacis ou glacis inférieur est couvert par la croûte gypseuse démantelée et l'encroûtement gypseux ; en surface, on remarque d'abondants débris de la croûte calcaire ou de la croûte calcaro-gypseuse. En haut et en bas du troisième glacis on observe souvent des limons à nodules identiques à ceux des Matmatas.

C'est par la considération des phases successives de nivellement, d'encroûtement et de creusement correspondant aux différents pluviaux et interpluviaux du quaternaire qu'il est possible de comprendre l'ensemble de ces formations. On sait qu'en Tunisie le développement de la croûte calcaire a été maxima à la fin des pluviaux moulouyens et tensiftiens.

H. ROBAUX et G. CHOUBERT (18 - 19) dans les régions de Zarzis, Medenine, considèrent comme identiques les croûtes du premier et du second glacis, l'attribuant à une seule phase du quaternaire ancien du fait qu'elles recouvrent

.../...

aussi le talus de raccordement entre les deux glacis. Ils datent cette croûte du tyrrhénien ancien. Ils notent également que la croûte gypseuse se trouve en contrebas des plateaux formés par le quaternaire ancien et recouvre le flanc des collines à substrat de marnes à gypse.

Si effectivement l'on remarque parfois une superposition de la deuxième croûte sur la croûte du premier glacis par contre tant sur le talus de raccordement que sur le second glacis la croûte saumon est le plus souvent absente sauf sur quelques buttes témoins émergeant à peine de la surface topographique générale.

Il semble plus vraisemblable, avec ce que nous savons par ailleurs des encroûtements en Tunisie, et étant donnée ici leur nature lithologique différente, qu'il y ait effectivement deux croûtes : l'une moulouyenne (= villafranchienne) sur le premier glacis, l'autre tensiftienne sur le second glacis.

Le troisième glacis se distingue surtout du second par l'érosion de la croûte tensiftienne et son remplacement par la croûte et l'encroûtement gypseux, le niveau topographique étant sensiblement identique et le talus de raccordement souvent masqué par les dépôts de pente constitués en particulier de limons à nodules. Il est donc possible dans l'état de nos connaissances d'attribuer la formation et l'encroûtement du troisième glacis soit à une phase tardive de la fin du pluvial tensiftien soit plutôt à l'interpluvial suivant.

Nous attribuons au pluvial soltanien l'épandage de limons à nodules en bas du troisième glacis ainsi que la formation de nombreuses dolines dans l'encroûtement gypseux du troisième glacis. Comme nous le verrons ci-après le matériau à l'intérieur des dolines est totalement différent de l'encroûtement gypseux et a constitué la roche-mère de sols steppiques.

D - LES TERRASSES

Les vallées d'oueds apparaissent nettement plus importantes que ne pourrait l'expliquer le climat actuel. Il faut donc attribuer au climat ancien le tracé d'une partie de leur cours.

../...

La croûte moulouyenne du premier glacis passe souvent latéralement en bordure d'oued à un conglomérat très dur. Celui-ci se superpose parfois à un autre plus ancien probablement pliocène ou miopliocène. Ces conglomérats s'étendent vers la mer sur les berges des oueds beaucoup plus loin que le glacis avec lequel ils se raccordent.

Si vraisemblablement le glacis moulouyen s'étendait autrefois jusqu'aux limites finales actuelles du troisième glacis, puis a été érodé et encroûté différemment, les conglomérats de bordure d'oued par contre se sont assez bien conservés. On remarque de magnifiques butte-témoins dans la sebkha Oum-Zessar, les dernières à un niveau parfois très bas, de 1 à 4 m.

Les argiles sableuses du miopliocène sont situées directement sous les conglomérats. Il y en a de jolies coupes le long des oueds en bordure de la route de Gabès-Mareth.

Les terrasses proprement dites ne sont pas nettes en amont du second glacis, où il s'agit principalement d'alluvions submodernes ou de lits majeurs toujours changeants suivant l'amplitude des crues. Là d'ailleurs le lit des oueds repose souvent sur le conglomérat moulouyen ou pliocène ; par exemple à l'oued Djir, dans sa zone de confluence avec l'oued Ferd et à quelques kilomètres en aval.

A partir du 2ème et du 3ème glacis les oueds sont nettement individualisés, les affluents moins nombreux et l'on remarque alors une terrasse ancienne se raccordant parfois très haut avec le 2ème ou le 3ème glacis :

Le substratum de cette terrasse est toujours constitué par les argiles sableuses rouges du miopliocène, mais elles sont recouvertes par une forte épaisseur de limons argileux rosés, ou de sables souvent disposés en strates successives. L'encroûtement gypseux couronne l'ensemble, mais la croûte gypseuse est rare et l'encroûtement gypseux est légèrement différent du point de vue pétrographique, comme nous le verrons ci-après.

Nous ne connaissons pas l'âge des dépôts sableux, ou limono-argileux situés entre l'encroûtement gypseux et les argiles sableuses du miopliocène. Par contre il est très probable que l'encroûtement gypseux y date de la même

../...

époque que celui du troisième glaciaire. Ainsi que sur ce dernier on y remarque de nombreuses escargotières et des silex taillés probablement capsien.

Cette terrasse ancienne est fréquente dans la zone du 2ème glaciaire à l'embouchure des affluents sur les oueds principaux. Par exemple : confluents de l'Oued Hadjer et de l'Oued Ferd, des oueds Melah et Rechada et de l'Oued Sourrag à El Mdou.

Dans la zone du troisième glaciaire elle est parfois très développée comme à Kettana par exemple ou dans la région de Gabès. Dans ce dernier cas en particulier nous pensons que les régions de Ras el Aïoun, Ras El Oued, de l'Oued Néchoa, de l'Oued Achour, le triangle compris entre Sidi Boulbala, l'ancien camp Brugirard et le Service des Eaux de Gabès lui appartiennent. On peut également en apercevoir une belle coupe dans la partie en amont de l'Oued Gabès au confluent de l'Oued El Beïda et de l'Oued Melah.

Bien emboîtée sur les glaciaires en amont, la terrasse ancienne, située le plus souvent aux environs de la cote 20, se confond en aval avec la terrasse postérieure et les épandages alluviaux récents d'oueds secondaires. Souvent l'encroûtement gypseux passe ainsi progressivement à un sol de Sebkh.

La terrasse récente comprend des sols alluviaux peu évolués, ou des sols salins, à alcalis et gypseux ; mais jamais nous n'y avons observé l'encroûtement gypseux tel que nous l'avons défini ci-dessus. Elle est souvent latéralement emboîtée sur la terrasse ancienne et se confond avec la plaine au voisinage de la mer. Cette terrasse est particulièrement développée dans la région étudiée à l'Oued Zerkine.

E - LA REGION LITTORALE

La région littorale de Gabès à la Sebkh Oum Zessar est assez homogène. On y aperçoit la fin du troisième glaciaire incliné en pente douce et très érodé par des érosions régressives dans l'encroûtement gypseux et dans les argiles sableuses du miopliocène, ce qui lui confère l'aspect de dômes successifs ; puis, après une zone étroite d'alluvions récentes, se succèdent progressivement

../...

vers la mer des sols salins comprenant des bancs étroits et interrompus de plages à cardium légèrement encroûtées et de sebkhas en partie inondées périodiquement par les marées hautes (en particulier la sebkha Oum Zessar). La mer remonte aussi légèrement à l'intérieur de tous les oueds de cette région sur une distance parfois supérieure au kilomètre.

De la sebkha Oum Zessar jusqu'à Djorf le glacis forme falaise directement sur la mer, excepté dans la région de Souassi El Agrebi et immédiatement à l'Ouest de la sebkha El Kantara où l'on retrouve les restes d'une ancienne dune tyrrhénienne sous forme d'un mince cordon battu par les vagues et ensablé.

De Djorf à Bou Grara le glacis est en falaise sur la mer. Dans la région littorale de Gabès à la sebkha Oum Zessar on ne remarque ni croûte ni encroûtement gypseux.

IV - HYPOTHESE PEDOGENETIQUE DE FORMATION

DE LA CROUTE ET DE L'ENCROUTEMENT GYPSEUX

Du fait que l'encroûtement peut exister sans la croûte et non l'inverse, nous sommes amenés à aborder en premier lieu le problème de l'encroûtement gypseux.

A - FORMATION DE L'ENCROUTEMENT GYPSEUX

1^{re} - Hypothèses émises précédemment

Parmi les différents auteurs qui se sont intéressés à la formation de l'encroûtement gypseux, c'est surtout, comme nous l'avons indiqué au premier chapitre, R. COQUE qui l'a étudié plus particulièrement et dont l'argumentation nous a paru la plus intéressante.

Nous pensons avec lui et pour les mêmes raisons que ni l'hypothèse de J.H. DURAND, en Algérie, expliquant certaines carapaces zonaires par des dépôts successifs au sein d'écoulements en nappe, ni l'hypothèse assimilant les surfaces encroûtées à d'anciens fonds de lagunes, ne conviennent ici.

Dans l'encroûtement gypseux, R. COQUE remarquant l'importance du ciment par rapport aux éléments clastiques, considère qu'une partie importante des formations primitives doit être susceptible de "s'incorporer au ciment". Le gypse serait abondant parmi ces matériaux où se forme la croûte, à la suite de l'intense dissémination du gypse durant le quaternaire par l'eau et le vent. R. COQUE dit notamment ceci au sujet de la nature de l'encroûtement (4) :

" Pour une grande part, il consiste en un simple remaniement "
" du gypse des formations qui en sont le siège. Il est évident "

../...

" que des apports nouveaux viennent s'y ajouter. En assurant un " " comblement partiel des vides, ils donnent à l'ensemble sa com- " " pacité typique. La décroissance de celle-ci vers le bas prouve " " que la transformation s'accomplit progressivement depuis la " " surface ou presque. L'enfouissement des croûtes⁺ sous des li- " " mons résulte d'épandages postérieurs. Même dans ce cas, leur " " surface présente toujours les traces des altérations provo- " " quées par l'exposition à l'air."

Cette conception très ingénieuse ne nous satisfait pas entièrement pour les raisons suivantes :

- la décroissance de la compacité vers le bas ne paraît pas une preuve évidente que la transformation s'accomplit depuis la surface (1).

Lorsqu'il y a lessivage par exemple la compacité croît vers le bas et il y a pourtant bien transformation depuis la surface. D'autre part la formation de la carapace de POMEL (de bas en haut) est fondée sur les mêmes faits : "Ce ne sont pas des eaux de surface qui les ont constitués, comme des revêtements superposés, leur accroissement se fait par la face inférieure, ce que l'on peut reconnaître au degré de durcissement des zones concentriques de moins en moins avancé selon qu'elles sont plus profondes" (16).

- par ailleurs la différence de compacité n'est point suffisamment progressive de haut en bas pour être caractéristique à notre avis. En fait on observe deux horizons différents par leur teneur en SO_4 et la taille des cristaux de gypse; il en résulte normalement, le gypse étant l'élément dominant, une différence de structure et de compacité d'un horizon à l'autre.

- dans cette hypothèse, d'autre part, la roche-mère de l'encroûtement serait le plus souvent des recouvrements détritiques quaternaires alluviaux ou fluviatiles. R. COQUE note cependant :

" A l'occasion, certaines couches géologiques meubles et très " " gypsifères ont été également affectées. Les argiles sableu- " " ses rouges du miopliocène en fournissent de bons exemples(4)".

Nous pensons au contraire comme nous le verrons plus loin, qu'en fait les recouvrements détritiques quaternaires alluviaux ou fluviatiles ne sont

.../...

+ Ce terme comprend ici la croûte et l'encroûtement.

qu'occasionnellement la roche-mère des encroûtements gypseux et qu'une place plus importante doit être accordée aux formations géologiques tendres et gypsifères.

Evidemment l'encroûtement gypseux peut ennoyer localement des matériaux détritiques divers, ceux-ci sont d'ailleurs plus souvent calcaires que gypseux (éboulis calcaires du crétacé, conglomérats démantelés de bordure d'oueds, débris des croûtes calcaires ou calcaro-gypseuses). Mais cette constatation ne prouve pas qu'il y ait eu parallèlement épandage d'éléments détritiques gypseux et transformation de ceux-ci, in situ, en "ciment".

- Enfin nous avons noté parmi les caractéristiques de l'encroûtement gypseux sa faible teneur en éléments clastiques, son homogénéité et sa constitution en deux horizons à microtexture différente. Dans le cas d'une pédogénèse s'exerçant de haut en bas à partir d'éléments détritiques, on devrait, semble-t-il, remarquer sur une surface restreinte une grande variabilité dans l'épaisseur des horizons due à l'hétérogénéité chimique des éléments détritiques gypseux ; on pourrait remarquer en particulier des différences d'évolution d'un point à l'autre, des sortes de poches ou de filons plus altérés que d'autres.

Une mention particulière doit être faite des "placages gypseux, minces et discontinus, qui parsèment les flancs des montagnes" R. COQUE accordait une large place au vent dans l'explication de ces encroûtements, ils "deviennent moins énigmatiques si on y voit des résultats de la cimentation de poussières éoliennes. A l'heure actuelle, l'extrême Sud nous permet encore d'assister à l'enfouissement des djebels sous les nebkas et les barkanes".

Nous pourrions ajouter en faveur de l'hypothèse éolienne de dissémination de gypse roche-mère d'encroûtement, que G. NOVIKOFF nous a récemment montré dans la région de Kébili de magnifiques dunes de gypse finement cristallisé, actuellement fonctionnelles. Il nous a montré aussi des dunes plus anciennes de gypse sableux, mortes à l'heure actuelle. Elles sont constituées de pseudo-sables gypseux, on y voit nettement une stratification entrecroisée et elles sont consolidées par le calcaire, ce qui constitue un grés à ciment

../...

calcaire d'une nature peu commune.

Pourtant, sans vouloir nier la possibilité d'encroûtement gypseux par l'hypothèse éolienne de R. COQUE, qui peut résoudre dans certains cas le problème de la présence du gypse au sommet des montagnes, nous pensons pouvoir l'expliquer différemment. Il nous apparaît difficile en effet de concevoir l'encroûtement gypseux comme le résultat de la cimentation de ces poussières éoliennes, ceci pour les raisons suivantes :

- même au sommet et sur les flancs des montagnes la répartition de l'encroûtement devrait vraisemblablement être caractéristique d'une répartition éolienne, on devrait remarquer des zones d'accumulation préférentielle, des zones de dépôts plus importants, or ce n'est point le cas.

- si, à certains moments du quaternaire, le rôle du vent a été plus important qu'aujourd'hui, et en particulier comparable à son rôle actuel dans l'extrême Sud, il n'est pas interdit de penser qu'il aurait pu subsister jusqu'à présent quelques traces caractéristiques de ces anciens apports éoliens. En particulier l'on devrait pouvoir observer beaucoup plus d'éléments éoliens autres que le gypse dans l'encroûtement gypseux. Ces vents d'un climat ancien auraient probablement laissé aussi quelques dunes consolidées, même gypseuses, comme à Kébili, puisque dans notre région la dernière croûte calcaire généralisée semble dater du tensiftien et, qu'on en trouve sur les flancs des djebels.

2° - Mode de formation.

Les données de base essentielles mentionnées jusqu'à présent concernant la nature même de l'encroûtement et sa répartition nous confirment dans l'hypothèse de sa formation possible à partir de plusieurs roches-mères parmi lesquelles nous accorderons une importance moindre aux recouvrements détritiques quaternaires alluviaux et aux apports éoliens.

Si nous reconnaissons avec R. COQUE la nécessité d'envisager un processus pédologique, celui-ci diffère comme nous allons le voir de celui

../...

qu'il préconisait. Le processus que nous envisageons est identique quelles que soient les roches-mères; c'est d'après celles-ci que nous allons l'étudier.

a) encroûtement formé à partir des argiles sableuses rouges du miopliocène.

C'est le cas de l'encroûtement du troisième glaciaire notamment. Tous les profils, d'encroûtement reposant sur les argiles sableuses rouges, que nous avons examinés tant dans notre région qu'ailleurs (au Nord Ouest de Gabès avec M. SOURDAT en particulier) (21) nous sont apparus identiques.

Exemple : profil situé à proximité de l'oasis de Mareth.

coordonnées $x = 8^G, 82'$ $y = 37^G, 36'85''$

topographie : sommet d'une butte fortement érodée; localement, en surface, débris de croûte gypseuse démantelée.

0 à 25 cm : gypse pulvérulent, texture limoneuse - blanchâtre - aspect massif - assez compact - quelques racines mortes - peu d'inclusions - sec.

25 à 65 cm : gypse pulvérulent, texture limoneuse - sensation de granules au toucher (têtes d'épingles) - beige très pâle - aspect massif - un peu moins compact que l'horizon précédent - peu d'inclusions - quelques petits cristaux visibles à l'oeil nu - quelques petites boules dures d'argile rouge de 0,5 à 1,5 cm de diamètre - frais.

65 à 120 cm : masse gypseuse finement cristallisée (texture sableuse à gravillonnaire), avec des intercalations verticales et horizontales, en plaques peu épaisses, de gypse pulvérulent beige analogue à celui de l'horizon précédent - compacité faible - couleur de l'ensemble jaune rouge pâle due à l'accolement de fines particules d'argile sur les faces des cristaux de gypse -

.../...

la dimension des cristaux croît vers le bas de l'horizon -
quelques boules dures d'argile rouge de 0,5 à 2 cm de diamètre.

120 à 140 cm : masse gypseuse cristallisée, à cristaux souvent plus grossiers -
couleur de l'ensemble jaune rouge pâle - peu compact - quelques
boules d'argile rouge légèrement plus grosses - mélange de
gypse limono-sableux et de calcaire entre les cristaux.
La dimension des cristaux de gypse croît vers le bas de l'horizon.

140 à 190 cm : argile sableuse jaune rouge très altérée à nombreux dendrites
de manganèse - très légèrement humide - très calcaire - sable
limoneux calcaro-gypseux beige et gros cristaux de gypse
(de 1 à 5 cm) en stratification horizontale et verticale dans
la masse, isolant ainsi des blocs d'argile sableuse de la taille d'un poing - par dessiccation à l'air après quelques jours
ces blocs prennent un aspect arrondi se débitant en anneaux
concentriques - les intercalations de sable-limoneux calcaro-gypseux et de cristaux de gypse forment un réseau à mailles
plus serrées à la partie supérieure de l'horizon qu'à la partie inférieure.

190 à 240 cm : argile sableuse rouge, très légèrement humide - très calcaire -
structure fondue - massive - compact - avec quelques gros
cristaux de gypse - réseau assez lâche de veines à limon sableux calcaro-gypseux et de gypse finement cristallisé se
raccordant au réseau à mailles plus serrées de l'horizon précédent.

Les deux premiers horizons de ce profil constituent l'encroûtement gypseux tel que nous l'avons décrit précédemment. Dans les deux derniers horizons on peut observer l'altération de la roche-mère (ici l'argile sableuse rouge). Les deux horizons compris entre 65 et 140 cm de profondeur sont des horizons intermédiaires.

.../...

Les argiles sableuses apparaissent généralement très altérées au bas des profils, vers 2 m ; toujours légèrement humides, elles sont sillonnées de veines à fins cristaux de gypse dans le sens vertical surtout et horizontal. Ce réseau gypseux cristallisé s'intensifie à la partie supérieure des argiles. Après quelques jours on observe sur une paroi fraîchement dégagée une dessiccation des argiles comprises entre les mailles du réseau ; elles prennent alors l'apparence de boules par débitage en anneaux concentriques.

Les cristaux du réseau gypseux apparaissent déjà à la profondeur de 3 ou 4 m parfois ; assez fins au début, ils s'épanouissent largement au contact de la partie supérieure des argiles où leur taille est de l'ordre de 50 à 100 mm. On remarque le plus souvent de fines particules d'argile rouge collées sur leurs parois.

Les argiles sableuses elles-mêmes, comprises entre les mailles du réseau, sont compactes, sillonnées de dendrites noirs apparemment de manganèse ; on y trouve quelques gros cristaux de gypse organisé parfois en "roses des sables".

Au-dessus des argiles et jusqu'à l'encroûtement, soit environ sur la moitié du profil compris entre les argiles et la surface, on n'observe pratiquement que des cristaux de gypse dont la taille diminue progressivement vers le haut de façon très nette. On peut suivant la taille des cristaux distinguer alors deux ou trois horizons successifs.

De petites boules d'argile apparaissent localement dans la masse cristallisée et parfois parmi les horizons même de l'encroûtement proprement dit. Elles peuvent à notre avis trouver une double explication ; du fait de l'accroissement du réseau gypseux cristallisé à la partie supérieure des argiles, ces dernières se trouvent finalement isolées en amas, la forme arrondie n'étant qu'une forme due à la dessiccation. Par ailleurs l'amenuisement des cristaux entraîne l'individualisation des particules d'argile fixées sur leurs parois, les pellicules d'argile en effet sont de plus en plus rares sur les faces des cristaux lorsque ceux-ci sont plus petits.

../...

Le passage progressif de la masse macrocristallisée à l'horizon inférieur microcristallisé de l'encroûtement est très net ; on peut donc concevoir ainsi une liaison parfaite entre l'encroûtement gypseux et les argiles sableuses rouges du miopliocène : il s'agit d'une véritable exsudation de gypse.

Nous avons remarqué aussi qu'à partir de l'horizon inférieur de l'encroûtement gypseux on peut obtenir l'équivalent du premier horizon par simple dessiccation et qu'inversement une imbibition par l'eau du premier horizon entraîne le durcissement en masse de la partie de celui-ci mise en contact direct avec l'eau, l'autre partie prenant alors un aspect identique à celui du second horizon.

Il ressort de l'ensemble de ces observations que l'encroûtement gypseux résulte ici d'une pédogénèse s'exerçant à partir du substrat argilo-sableux miopliocène, la roche-mère de l'encroûtement étant constituée par les cristaux de gypse sous-jacents et indirectement par les argiles sableuses d'où ils sont exsudés.

Nous envisageons un processus pédologique d'évaporation lente et continue entraînant après exsudation de gypse un amenuisement progressif des cristaux aboutissant à cette forme microcristalline apparemment pulvérulente de l'encroûtement.

Il est possible que, parallèlement à l'amenuisement des cristaux il y ait une modification de l'état moléculaire du gypse dans le sens d'une forme moins hydratée vers la surface du sol ; déjà R. COQUE avait remarqué une certaine proportion d'anhydrite dans la partie blanche pulvérulente. Nous n'avons malheureusement pas encore de données précises sur ce point.

Le processus d'évaporation n'implique pas obligatoirement la présence d'une nappe phréatique à faible profondeur, à partir de laquelle s'effectuerait la remontée des sels par capillarité. Le niveau de la nappe dans la formation argilo-sableuse est en général assez profond dans la région, environ une quinzaine de mètres.

..//...

Cependant les argiles sableuses sont toujours humides sous l'encroûtement. Il est possible qu'étant donné leur capacité de rétention, il se soit établi un équilibre hydrique (liquide ou gazeux) entre la zone de surface altérée et soumise à l'évaporation et les couches plus profondes au voisinage direct de la nappe.

Cet état d'équilibre pourrait être facilité du fait que la nappe se trouve légèrement en charge et que la pente du glacis peut favoriser une imprégnation des argiles sableuses par une lente diffusion horizontale.

La teneur en SO_4^{4-} de la nappe est assez élevée : entre 22 et 40 milliéquivalents. La teneur en calcium légèrement plus faible. Les ions Cl et Na sont le plus souvent équilibrés (environ 15 milliéquivalents chacun). Il est probable que c'est le magnésium qui sature secondairement les ions SO_4^{4-} . Plusieurs faits nous confirment dans cette hypothèse de formation de l'encroûtement à partir des argiles sableuses du substrat tel que nous venons de l'exposer.

En effet dans la région que nous avons étudié ce cas s'applique principalement à ce que nous avons appelé le troisième glacis. Or la topographie ondulée de celui-ci est tout à fait caractéristique, elle est le résultat d'une forte érosion de l'encroûtement et des argiles sableuses.

Cette érosion n'est pas entièrement imputable à notre époque, il existe tout un réseau de ravins et de griffes manifestement non fonctionnels à l'heure actuelle. Mais ce qui frappe l'observateur c'est l'épaisseur relativement constante de l'encroûtement qui épouse parfaitement la topographie existante.

Si l'encroûtement résultait de l'altération d'un dépôt détritique plaqué sur les argiles, il faudrait supposer une mise en place de ce dépôt postérieur à l'érosion de celles-ci, ce qui est possible, mais il est difficilement concevable d'envisager un placage aussi régulier quelles que soient les pentes et les ramifications du réseau d'érosion. Par ailleurs dans les profils observés on ne remarque aucune trace de ce dépôt.

.. / ...

Il est plus vraisemblable de penser que la pédogénèse de l'encroûtement telle que nous l'envisageons s'est exercée après l'érosion de la croûte tensiftienne calcaro-gypseuse qui devait recouvrir autrefois toute la surface du 3ème glacis. Cette hypothèse nous semble confirmée par la présence de cette croûte encore un peu partout dans le troisième glacis formant des placages témoins (il ne s'agit pas de buttes à proprement parler étant donné la très faible dénivellation). Nous observons encore le même phénomène d'altération sur les parois argileuses du deuxième glacis ou du premier glacis lorsqu'elles sont fraîchement dégagées par l'érosion. C'est ainsi aussi que localement l'encroûtement gypseux remplace la croûte calcaire sur le premier ou le deuxième glacis ; il est donc probable que la croûte calcaire formait un écran protecteur. Nous en avons des exemples récents d'une autre origine que l'érosion :

Ainsi à l'emplacement de tranchées effectuées dans la croûte calcaire pendant la dernière guerre nous voyons parfois un véritable encroûtement identique à celui que nous avons décrit si ce n'est son épaisseur moindre ; or les tranchées pédologiques que nous avons faites dans cette croûte ne montrent sous celle-ci ni masse cristalline, ni encroûtement gypseux, mais seulement une sorte d'encroûtement calcaire constitué de nodules plus ou moins durcis et de limons calcaires très faiblement gypseux, recouvrant les argiles sableuses du miopliocène.

Nous remarquons aussi qu'en bordure des grands oueds là où le conglomérat calcaire existe il n'y a pas d'encroûtement, mais lorsque le conglomérat est démantelé, il est facile d'observer des intercalations cristallines de gypse de plus en plus fines s'épanouissant dans les fentes.

Dans la Sebkha Oum Zessar il existe tout un alignement de buttes témoins à conglomérat calcaire ; sur certaines d'entre elles des pans entiers du conglomérat sont tombés au pied des buttes et à leur emplacement on observe l'encroûtement gypseux, et des horizons intermédiaires de cristaux plus grossiers situés entre les argiles sableuses du substratum et l'encroûtement.

../...

- b) encroûtement formé à partir d'un ancien horizon hydromorphe à accumulation de gypse.

Nous observons ce cas dans les zones correspondant à la terrasse ancienne. De la partie la plus basse de cette terrasse à la partie la plus haute, s'étage une chaîne de sols, présentant des caractères d'hydromorphie très nets. En particulier on note des traînées de couleur noirâtres des taches ocres et rouilles et parfois des poupées gypseuses (Ras-Kelb).

Cette hydromorphie est actuellement fonctionnelle dans la partie la plus basse de cette terrasse, mais elle est nettement fossile dans la partie la plus haute où cependant des caractères identiques tels que les taches témoignent encore de son ancienne action. Elle nous semble liée à la présence, ancienne pour cette partie et actuelle pour la partie basse, d'une nappe phréatique à moins de deux mètres de la surface. Les taches observées ainsi que les poupées correspondent à la zone de battement. Au-dessus se forme un horizon d'accumulation gypseuse compact, de texture limono-argileuse, devenant très dur par dessiccation à l'air où à la suite de l'approfondissement du niveau de la nappe; cette formation compacte est connue sous le nom de "Terch".

Dans la partie basse de la terrasse le "Terch" est généralement recouvert par des épandages récents très calcaires et de texture sablo-limoneuse. Il se forme encore actuellement et se prolonge parfois dans les alluvions récentes de la terrasse suivante.

Plus haut ce recouvrement n'existe que très localement sous forme de poches de quelques mètres carrés au plus, ou pas du tout, à part des cailloutis de surface; c'est l'encroûtement gypseux à deux horizons qui recouvre le "Terch". La formation encroûtée par le "Terch" lui-même dans la terrasse ancienne comprend des sables et des limons sableux ou argileux rosés que nous avons décrit au chapitre précédent et dont nous ne connaissons pas encore l'époque d'épandage, les sables se trouvent principalement au sommet.

../...

L'horizon du "Terch" formé près de la surface au sein de ces sables et limons a une épaisseur de 40 à 50 cm environ ; sa teneur en SO^4 est de l'ordre de 30 %. L'encroûtement gypseux qui lui est superposé est identique à celui que nous observons sur les argiles sableuses rouges du miopliocène. Cependant on peut y noter souvent la présence de sables à l'intérieur du ciment gypseux, d'où une compacité moins grande de l'encroûtement. La teneur en SO^4 de l'horizon supérieur est de l'ordre de 30 à 35 % celui de l'horizon inférieur de 22 à 27 %.

Entre le second horizon de celui-ci et le "Terch" se trouve généralement un horizon intermédiaire à cristaux plus grossiers présentant une plus grande abondance de sables et déjà des caractères d'hydromorphie ancienne, taches noires ou ocre. L'aspect de l'ensemble varie très progressivement, le "Terch" fait suite sous forme de sable compacté par un ciment gypseux très fin où s'individualisent quelques cristaux.

La roche-mère de l'encroûtement semble être ici cet ancien horizon d'accumulation gypseuse formé par évaporation au-dessus de la nappe. La transformation se traduit par l'individualisation du gypse du "Terch" en cristaux s'amenuisant progressivement vers la surface vraisemblablement par une évaporation lente et continue comme précédemment.

Les formations sableuses ou limoneuses sous le "Terch" et l'horizon taché qui lui succède sont franches ; il n'est pas obligatoire que la zone anciennement baignée par la nappe se soit aussi chargée en gypse.

c) encroûtement formé à partir de sédiments gypseux, alluviaux, fluviatiles ou éoliens.

L'encroûtement formé dans ce cas présente des caractères absolument identiques à celui que l'on observe sur les argiles sableuses du miopliocène, si ce n'est souvent une épaisseur moindre.

Ce cas est assez courant sur certains petits djebels de la région de Gabès où nous l'avons remarqué avec M. SOURDAT(21). Il existe dans les

calcaires de ces djebels des poches de ruissellement contenant, notamment à leur partie inférieure, de nombreux petits blocs d'argile sableuse du miopliocène ainsi que d'autres éléments détritiques gypseux plus ou moins altérés. L'encroûtement gypseux situé au-dessus paraît provenir de ces sédiments qui en seraient la roche-mère au même titre que les argiles sableuses du miopliocène ; le processus de pédogénèse serait identique.

d) encroûtement formé à partir d'une roche dure gypseuse.

Nous avons observé ce cas au djebel Zenlet et Douariat à l'Ouest de Gabès.

Une rupture de pente présente un affleurement de roche calcaro-gypseuse du crétacé. Cette roche est fissurée, des blocs s'en détachent. Certains d'entre eux se trouvant ainsi au pied de l'escarpement, parmi des colluvions caillouteuses, sont recouverts entièrement ou en partie d'une croûte gypseuse, plus ou moins épaisse suivant les cas. Sous la croûte la masse est entièrement constituée de gypse pulvérulent ; lorsque la croûte est moins épaisse, l'encroûtement sous-jacent est moins blanc ; ce serait alors apparemment l'équivalent du second horizon de l'encroûtement. On remarque aussi dans la masse pulvérulente des restes de la roche originelle. Sur un seul bloc détaché de la paroi on peut remarquer une partie très dure intacte et une partie de plus en plus altérée jusqu'à ne plus être constituée que par de la croûte gypseuse enrobant un encroûtement gypseux.

Il s'agit là d'un cas d'altération en place particulièrement intéressant. La dimension de la croûte pouvant être celle du bloc, c'est la seule fois où nous avons observé des croûtes de 60 cm² de surface non fissurées.

La pédogénèse de la formation obtenue peut s'expliquer par des processus successifs de dissolution et d'évaporation lente et continue entraînant un remaniement du gypse au sein de la roche.

Ce mode de formation ainsi que le précédent peuvent expliquer la présence de gypse au sommet et sur les flancs des djebels. Une partie du gypse

peut provenir aussi de l'altération en place de certains bancs d'argile gypseuse suivant un processus identique à celui que nous avons décrit dans l'altération des argiles sableuses du miopliocène.

B - FORMATION DE LA CROUTE GYPSEUSE

Nous partageons à ce sujet l'hypothèse de R. COQUE. Toutefois précisons qu'il ne s'agit là que du revêtement durci et zoné de l'encroûtement.

" Il consiste dans une reconcentration des éléments les plus solu-"
" bles du ciment, principalement le gypse, à la suite d'alternances"
" de dissolutions et de précipitations dans sa partie superficielle!..
" Les pluies occasionnelles et surtout les condensations liées à "
" l'importance des amplitudes thermiques diurnes en certaines sai- "
" sons, semblent pouvoir fournir l'humidité nécessaire au remanie- "
" ment périphérique des sels. L'intensité de l'insolation explique "
" leur dépôt en surface, sous la forme de feuillets" (5).

M. le Professeur AUBERT envisage un processus analogue pour la formation de certaines croûtes calcaires (1).

Cette théorie semble être confirmée du fait que la croûte enrobe souvent les parois exposées à l'air de blocs d'encroûtement arrachés par l'érosion. Les condensations nocturnes ont probablement un rôle non négligeable dans la reconcentration superficielle des microcristaux de l'encroûtement.

Les pellicules zonées observées à l'intérieur de l'encroûtement peuvent s'expliquer par un processus identique provoqué par des fentes dans la masse ou dû soit à une activité racinaire localisée, soit à une différence d'humidité par suite des pluies.

Ces zonations secondaires à l'intérieur de l'encroûtement nous paraissent cependant bien différentes de la croûte, plus épaisse et dont la structure feuilletée et la coloration s'opposent à la minceur, l'aspect homogène non feuilleté et la couleur claire des zonations secondaires.

C - PHENOMENES S'OPPOSANT A LA FORMATION DE LA CROUTE ET DE L'ENCROûTEMENT

EFFET DE "MULCH"

La croûte ne se forme pas sur le second horizon de l'encroûtement, mais seulement à partir du premier dont elle semble se nourrir. L'affleurement à l'air libre de ce gypse pulvérulent semble indispensable pour la formation de la croûte. En effet il est remarquable de constater que lorsque l'encroûtement est recouvert d'une formation alluviale ou éolienne de quelques centimètres d'épaisseur, la croûte ne se forme pas. Par contre on la retrouve partout où l'encroûtement affleure. Cela est très facile à observer dans le cas d'un recouvrement discontinu.

Le recouvrement nous paraît donc constituer un "mulch" stoppant suffisamment les phénomènes d'évaporation à partir de la surface pour que la croûte ne se forme plus.

Cet effet de "mulch" semble aussi s'exercer pour l'encroûtement. Ainsi peut-on voir souvent parmi l'encroûtement formé sur les argiles sableuses du miopliocène des poches de sol steppique à teneur en gypse presque nulle mais très calcaire .

Ces sols peuvent parfois couvrir plusieurs mètres carrés ; en profondeur ils peuvent atteindre soit la partie inférieure de l'encroûtement, soit la masse cristallisée, soit les argiles. La zone de contact avec l'encroûtement à la limite de ces sols est brutale, la teneur en gypse passant en quelques centimètres de 1 à 80 %. Il s'agit là manifestement d'un recouvrement postérieur à l'encroûtement et en partie érodé, si bien qu'il n'en subsiste que des poches. Par suite de l'effet de "mulch" qu'il exerce son imprégnation en gypse est pratiquement nulle, mais là où il a disparu, l'encroûtement a repris son épaisseur normale et la croûte peut se former.

Lorsque l'encroûtement est formé à partir d'un ancien "terch" comme nous l'avons vu ci-dessus, la croûte est plus rare et souvent remplacée par des amas de "lichens" à la surface du sol. On note parallèlement une compacité moins grande du premier horizon de l'encroûtement et une teneur en gypse plus faible que dans les autres cas. La présence d'éléments élastiques plus abondants au sein de l'encroûtement (sables en particulier) peut expliquer ces différences et empêcher la formation de la croûte.

../...

V - DATATION DE LA CROÛTE

ET DE L'ENCROÛTEMENT GYPSEUX

A propos de la croûte gypseuse, nous avons vu précédemment qu'elle n'est qu'un simple remaniement de la partie exposée à l'air libre de l'encroûtement et que les conditions nécessaires à sa formation semblent exister à l'heure actuelle.

Nous avons partout remarqué son aspect épisodique à la surface de l'encroûtement qu'elle ne recouvre pas d'une façon régulière, mais par plaques.

La fissuration et l'arrachement qu'elle subit systématiquement dans les conditions climatiques actuelles expliquent cet aspect morcelé.

Parallèlement l'on peut observer partout à la surface de l'encroûtement la formation de nouvelles patines dont l'épaisseur variable présente tous les intermédiaires jusqu'à la croûte. Nous avons cité la présence de croûtes récentes, d'aspect absolument identique aux autres, en bordure de lits d'oueds notamment.

Enfin, parmi les débris de croûte parsemés à la surface du sol, certains apparaissent nettement plus anciens que d'autres à en juger par l'épaisseur de la patine qui les recouvre.

Ceci nous amène à conclure que les croûtes gypseuses observées en place à la surface du sol à l'heure actuelle sont vraisemblablement récentes sinon contemporaines, et qu'elles se démantèlent et se reconstituent régulièrement.

Quant à l'encroûtement gypseux, nous avons cité précédemment certains cas d'encroûtements récents, nous en connaissons un peu partout, mais leur épaisseur est toujours assez faible (de 5 à 30 cm) et leur surface très réduite.

.../...

L'encroûtement gypseux plus épais observé sur les glacis est en général un paléosol ; nous avons indiqué précédemment que sa formation date probablement d'une phase tardive du pluvial tensiftien ou de l'interpluvial tensiftien-soltanien. Il paraît postérieur à l'époque de la formation de la croûte calcaro-gypseuse (fin du pluvial tensiftien) mais il est recouvert localement par des épandages soltaniens.

Nous ne connaissons pas de croûte ou d'encroûtement gypseux tels que nous les avons décrits qui soient antérieurs au tensiftien.

L'encroûtement gypseux des glacis que nous venons de considérer comme un paléosol est soumis actuellement à une érosion en nappe et en rigoles, intense lors des précipitations. Il semblerait que la partie blanche et pulvérulente entraînée par cette érosion et correspondant au 1er horizon se reconstitue par la suite aux dépens du second horizon, il ne s'agit là que de la transformation actuelle d'un horizon en un autre. Ceci se manifeste sur le terrain par la présence de taches d'humidité de couleur brun jaune à la surface de l'encroûtement. Ces taches correspondent à l'affleurement localisé du second horizon, elles disparaissent progressivement et l'on observe, quelques temps après, à leur emplacement de nouveau que du gypse pulvérulent blanc.

Nous concluons à la possibilité de formation à notre époque de l'encroûtement gypseux dans des conditions particulières, mais cependant assez répandues.

Cela confirme d'ailleurs les hypothèses émises récemment par H.N. LE HOUEROU (14) à la suite d'observations d'enrichissement superficiel en gypse sur la falaise d'un oued de la région de Moularès "On doit en conclure qu'il peut y avoir de nos jours et localement, formation d'encroûtements gypseux par évaporation et en l'absence de nappes, à partir d'un matériau déjà riche en gypse et non encroûté."

P.F. BUROLLET (3) envisageait probablement le même type d'encroûtement lorsqu'il écrivait, dès 1956.

" De minces croûtes gypseuses peuvent se former à l'époque actuelle "
" demandant moins de pluie que les croûtes calcaires ; nous en "
" avons observé plusieurs cas à Chorbane et dans le Sahel de Sfax. "

.../...

VI - EXTENSION A D'AUTRES REGIONS EN TUNISIE

DES OBSERVATIONS FAITES ET DES HYPOTHESES EMISES

Le type de croûte et d'encroûtement gypseux que nous avons décrit est très répandu dans le Sud et le centre de la Tunisie. Outre les travaux que nous avons cité précédemment, de nombreuses observations ont été faites à ce sujet dans les régions suivantes:

A Ksar Rhéris (région de Maknassy) A. FOURNET (10) a cartographié des formations identiques, les résultats d'analyses sont les mêmes pour la croûte de piedmont en bordure du djebel Djebss que pour la croûte de bas de glacis du même djebel près de l'oued Leben (respectivement 36,17 et 38,19 % de SO^4 ; 5,1 et 3,9 % de CO^3Ca).

Dans la bordure Sud de la sebkha Chérifa dans la région des Souassis, nous avons remarqué avec D. SIMON, pédologue, des encroûtements et croûtes gypseuses identiques mais d'épaisseur moindre à teneur en SO^4 également très élevée : (de 30 à 44 %). Nous avons aussi observé ces formations avec M. HAMZA dans la région d'El Hamma de Gabès (10).

Sur la route de Gabès à Kébili nous avons relevé un profil de sol à croûte et encroûtement gypseux formés sur argiles rouges du wealdien, exactement identique aux profils de sol de même type formé sur argiles sableuses du miopliocène.

Près de Tozeur, nous retrouvons des formations gypseuses identiques sur les djebels du crétacé entre El Hamma et Sebaa-Biar ainsi que localement sur les sables pontiens en bordure de glacis ; dans ce dernier cas, le processus pédogénétique est différent car il s'agit d'une formation classique par ruissellement et évaporation en bas de pente (1).

../...

Dans la région de Sidi Bou Zid, au djebel Kébar, au djebel Meloussi, au djebel Goubrar, nous remarquons dans les roches des poches à encroûtement gypseux pulvérulent. Ces encroûtements proviennent du remaniement du gypse des argiles qui affleurent localement et ils s'expliquent par des phases successives de transport, de dissolution et d'évaporation. Ces encroûtements sont parfois très récents. Entre le djebel Meloussi et Laknassy on observe un glacis à encroûtement gypseux où la croûte paraît se former et se démanteler actuellement.

Ainsi la croûte et l'encroûtement gypseux que nous avons étudiés sont largement représentés dans le Sud et le Centre tunisiens. En bien des cas, l'hypothèse de formation pédogénétique que nous envisageons peut s'appliquer également à ces autres sols identiques observés en d'autres points de la Tunisie.

CONCLUSION GENERALE

Les observations décrites dans cette étude ont été faites par les pédologues du Service Pédologique de Tunisie à l'occasion de leurs prospections cartographiques dans le centre et le sud tunisien; elles doivent être confirmées par des recherches au laboratoire, **en particulier sur** le mode de formation de la croûte gypseuse à partir des argiles du miopliocène.

Des essais préliminaires effectués avec des moyens de fortune ont été assez concluants et nous avons pu fabriquer l'encroûtement blanc en utilisant une argile finement broyée.

D'autres essais vont être entrepris à partir de monolithes, dans deux directions :

- 1) formation de l'encroûtement jaune et blanc à partir des argiles.
- 2) formation de la croûte à partir de l'encroûtement.

D'autre part la vitesse de transfert du sulfate de calcium d'un horizon à un autre et de sa transformation d'une forme à une autre pourrait être étudiée et expliquer les différences morphologiques et pédogénétiques que nous avons pu observer.

Quoi qu'il en soit, au stade actuel de nos connaissances, l'action du gypse dans la pédogénèse des sols du centre et du sud tunisiens nous paraît assez importante pour qu'à l'intérieur de la classe des sols calcimorphes, la sous-classe des sols gypseux soit créée.

Nous proposons donc en suivant la classification de G. AUBERT (1).

.../...

- Classe des sols calcimorphes.

A) Sous-classe des sols calcaires (pour mémoire)

B) Sous-classe des sols gypseux

1) groupe à concentration gypseuse localisée.

Série - croûte

" - encroûtement

" - amas et nodules.

2) groupe à accumulation gypseuse répartie dans le profil

Série - gypse microcristallisé (à l'oeil nu)

" - gypse diffus (à l'oeil nu)

" - gypse macrocristallisé (à l'oeil nu)

Ces sols "gypsomorphes" ne doivent pas être confondus avec des sols hydromorphes à gypse, pas plus qu'on ne doit confondre une croûte de nappe avec une croûte de ruissellement ou d'évaporation.

Dans le cas des sols hydromorphes à gypse, ils seront classés naturellement dans les sols hydromorphes.

La croûte et l'encroûtement que nous venons d'étudier appartiennent au groupe à concentration gypseuse localisée, et à la série croûte ou encroûtement suivant la présence ou l'absence de la croûte en surface.

BIBLIOGRAPHIE

<u>N° dans le texte</u>	<u>Auteurs</u>	<u>Publications</u>
1	G. AUBERT	Pédologie - cours inédits - ORSTOM Paris 1960.
2	J. BOULAIN ..	Sur la formation des carapaces cal- caires - Service de la carte géolo- gique d'Algérie - Alger 1958.
3	P.F. BUROLLET	Contribution à l'étude stratigra- phique de la Tunisie Centrale - Annales des mines et de la géologie Tunis 1956.
4	R. COQUE	Les croûtes gypseuses du Sud tunisien bulletin de la Société des Sciences Naturelles de la Tunisie - Tome VII 1955
5	R. COQUE	Morphologie et croûte dans le Sud tunisien - Annales de géographie.
6	R. COQUE	Glacis d'érosion dans le Sud tunisien exemple morphoclimatique d'une bor- dure saharienne. XVIII - Congrès International de Géographie - Brésil 1956.
7	J.H. DURAND ..	Les sols rouges et les croûtes en Algérie - Alger 1959.
8	A. FOURNET ...	Etude de reconnaissance des sols du périmètre de Gafsa Lalla - étude N° 141 SSEPH Tunis 1958.
9	A. FOURNET ...	Périmètre de Henchir Boua - étude N° 172 SSEPH Tunis 1960.
10	A. FOURNET ...	Communications verbales.
11	M. HAMZA	Etude pédologique de la région d'El Hamma Béchima - étude N° 160 SSEPH Tunis 1959.

.../...

N° dans
le texte

Auteurs

Publications

- | | | |
|----|-------------------------------------|---|
| 12 | KOVDA | Principles of theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones. UNESCO - Iran symposium on salinity problems in the arid zones - Téhéran 11. 15 Octobre 1958. |
| 13 | KOVDA | Origine et régime des sols salés T.1 1946 - Edition academie des sciences de l'URSS (en russe). |
| 14 | H. N. LE HOUEROU | Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie - Montpellier 1959. |
| 15 | G. NOVIKOFF | Communications verbales. |
| 16 | A. POMEL | Description stratigraphique générale de l'Algérie pour servir à l'explication de la deuxième édition de la carte géologique provisoire - Alger 1889. |
| 17 | H. ROBAUX & G. CHOUBERT | - Feuille de Foum Tatahouine. |
| 18 | " " | - Feuille de Medenine. |
| 19 | " " | - Feuille de Zarzis. |
| | | Etudes géologiques et hydrogéologiques - Direction des Travaux Publics - Tunis. |
| 20 | M. SOLIGNAC &
E. BERKALOFF | Carte géologique provisoire de Gabès - échelle 1/200.000e. |
| 21 | M. SOURDAT | Périmètres de Bir Chenchou - Djebel Dissa - Etude pédologique N° 178 SSEPH (à paraître). |